

Tercer capítulo. Cambio climático, uso de riego y estrategias de diversificación de cultivos en la sierra peruana	Titulo
Ponce, Carmen - Autor/a; Arnillas, Carlos Alberto - Autor/a; Escobal D' Angelo, Javier - Autor/a;	Autor(es)
Agricultura peruana : nuevas miradas desde el censo agropecuario	En:
Lima	Lugar
GRADE	Editorial/Editor
2015	Fecha
	Colección
Cambio climático; Encuestas; Censos agropecuarios; Riego; Perú;	Temas
Capítulo de Libro	Tipo de documento
"http://biblioteca.clacso.edu.ar/Peru/grade/20160218013015/Cap3LIBROGRADE_CENAGRO.pdf"	URL
Reconocimiento-No Comercial CC BY-NC <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/deed.es">http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/deed.es</a>	Licencia

**Segui buscando en la Red de Bibliotecas Virtuales de CLACSO**  
<http://biblioteca.clacso.edu.ar>

**Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO)**  
**Conselho Latino-americano de Ciências Sociais (CLACSO)**  
**Latin American Council of Social Sciences (CLACSO)**  
[www.clacso.edu.ar](http://www.clacso.edu.ar)



Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales  
 Conselho Latino-americano de Ciências Sociais  
 Latin American Council of Social Sciences



## TERCER CAPÍTULO

# CAMBIO CLIMÁTICO, USO DE RIEGO Y ESTRATEGIAS DE DIVERSIFICACIÓN DE CULTIVOS EN LA SIERRA PERUANA

Carmen Ponce  
Carlos Alberto Arnillas  
Javier Escobal



## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este estudio es contribuir a entender el cambio en las condiciones climáticas ocurrido en la sierra peruana durante el periodo 1994-2012, e identificar algunos de los efectos que este cambio ha tenido en las decisiones vinculadas a las estrategias productivas de los agricultores de esta región; en particular, al uso del riego y la diversificación de los cultivos.

Diversos estudios han mostrado los impactos severos del cambio climático global en la sierra peruana. Entre estos, se ha documentado el deshielo acelerado de los glaciares y su consecuencia sobre los regímenes hídricos. Asimismo, reportes de agricultores de la sierra alertan sobre la creciente incertidumbre climática, así como la mayor vulnerabilidad frente a plagas y eventos climáticos extremos imprevistos, que pueden ocasionar la pérdida de cosechas. Por otro lado, también se han documentado impactos positivos del cambio climático en la agricultura, como la reciente viabilidad de ciertos cultivos que antes no crecían en determinadas zonas y que podría permitir que los agricultores de la sierra desarrollen una vinculación más rentable con los mercados agrícolas.

Aunque se cuenta con algunas estimaciones del cambio climático para el Perú producidas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), estas no están disponibles para periodos compatibles con los de los censos agropecuarios de 1994 y el 2012; por ello, dichas estimaciones no permiten analizar los posibles efectos del cambio climático sobre las decisiones productivas de los agricultores. Para hacer este tipo de análisis, es necesario estimar las condiciones climáticas de los 30 años anteriores a cada censo agropecuario en niveles de agregación compatibles con las unidades de observación censales. Por eso, este estudio elabora primero estimaciones

del cambio en la temperatura promedio y en la precipitación promedio de los distritos de la sierra<sup>1</sup> para los periodos 1964-1994 y 1982-2012. Estas estimaciones siguen la metodología empleada por Lavado y otros (2015) para el estudio del impacto económico del cambio climático en el Perú (EIECCP). Sobre la base de estas estimaciones, de los datos de los censos agrarios de 1994 y del 2012, así como de información adicional recolectada de fuentes complementarias, se estudian los efectos del cambio climático sobre las decisiones de uso de riego y diversificación de cultivos de las unidades agropecuarias de la sierra. Al respecto, el uso de un panel de distritos con información de los censos agropecuarios permite obtener estimadores consistentes del impacto del cambio climático sobre las variables de interés.

El documento está organizado en cuatro secciones. La primera presenta brevemente la literatura reciente sobre la relación entre el cambio climático y las decisiones productivas en la agricultura. La segunda se refiere a la estrategia y los resultados de la estimación del cambio en las condiciones climáticas. La tercera se concentra en discutir la estrategia de estimación de algunos de los efectos que este cambio ha tenido en el uso del riego y la concentración de cultivos en la sierra. En la última sección se resumen los principales hallazgos de este trabajo y se concluye con algunas ideas sobre la agenda de investigación pendiente en este tema.

---

1 En este estudio se considera que un distrito es de sierra si más de la mitad de su superficie agrícola se encuentra en sectores de empadronamiento agropecuario (SEA) de sierra, según el Censo Agropecuario del 2012.

## 1. CAMBIO CLIMÁTICO Y ESTRATEGIAS PRODUCTIVAS DE LAS UNIDADES AGROPECUARIAS

Existe abundante literatura sobre el impacto que tienen tanto el cambio climático como la vulnerabilidad climática en las decisiones tecnológicas de los agricultores, y sus estrategias de diversificación de cultivos, crianzas e ingresos.

Entre las múltiples estrategias de adaptación frente al cambio climático, el desarrollo y la difusión de tecnologías se considera una de las opciones más relevantes (Stalker 2006, Lybbert y Sumner 2010). No solo los productores buscan adoptar tecnologías menos vulnerables ante los *shocks* climáticos; los investigadores también están modificando o innovando tecnologías con el fin de incrementar la tolerancia agrícola frente a estos *shocks*. Así, autores como Tambo y Abdoulaye (2012), y Ruben y otros (2000), muestran la utilidad de incrementar la flexibilidad en el uso de tecnologías como mecanismo de adaptación a la mayor vulnerabilidad climática.

La literatura muestra que las estrategias típicas de adaptación incluyen el uso de nuevas variedades de un mismo cultivo, nuevos cultivos y especies animales que se adecúen mejor a condiciones secas; la adopción de nuevas tecnologías de riego; la diversificación de cultivos o la adopción de sistemas mixtos; la modificación de las fechas de siembra; y la diversificación hacia actividades no agrícolas (Nhemachena y Hassan 2007, Bradshaw y otros 2004). Asimismo, se sugiere que la elección de una u otra estrategia de adaptación depende del contexto en el que se ubica el productor, lo que incluye las características de este, la base de activos —tangibles e intangibles— de los que dispone, su cercanía o lejanía a los mercados de productos y factores, así como los arreglos institucionales —formales e informales— imperantes (Deressa y otros 2008).

El desarrollo de infraestructura que permita manejar el agua y el uso de tecnologías de riego son vistos también como elementos clave para que los pequeños productores logren enfrentar el cambio climático. Mejoras tanto en la gestión del agua en microcuencas (Tompkins y Adger 2004, Marshall y Randhir 2008) como en el riego tecnificado (Nkya y otros 2015) son vistas como opciones importantes para reducir los impactos negativos del cambio climático.

Lin (2011) muestra cómo la diversificación de cultivos puede contribuir a incrementar la resiliencia de la producción agrícola, pues impulsa una mayor capacidad para limitar la aparición de pestes y la transmisión de agentes patógenos, y contribuye a reducir la variabilidad de la producción agregada en entornos de alta variabilidad climática. Según esta autora, las políticas dirigidas a fomentar la especialización de cultivos, e incluso el monocultivo, han exacerbado los impactos negativos del cambio climático. Finalmente, Lin (2011) señala que se puede diversificar en distintas escalas: tanto en el nivel del productor —distintos cultivos o tipos de cultivos— como en el de territorios. Para ello, es necesario identificar o promover paisajes que permitan una mayor resiliencia ecológica; es decir, una mayor capacidad de absorber perturbaciones sin que se alteren significativamente sus características de estructura y funcionalidad.

Las estrategias de adaptación no solo se limitan al aspecto técnico-productivo. Por ejemplo, Osbahr y otros (2008) muestran, para el caso de Mozambique, respuestas locales ante *shocks* climáticos mediante la creación de instituciones informales y sistemas de manejo colectivo de la tierra que incorporan elementos de reciprocidad y flexibilidad capaces de absorber eventos negativos e incrementar la resiliencia. Por su parte, Morton (2007) señala que las estrategias de adaptación de los agricultores de subsistencia son muy heterogéneas, puesto que dependen del contexto en el que ellos operan y de la presencia de otros factores estresantes no vinculados al clima —como el grado de desarrollo de los mercados, y la volatilidad de los mercados de productos y de trabajo—, capaces de ampliar o limitar las posibilidades de desarrollar estrategias de diversificación.

Es importante reconocer que las estrategias de adaptación no siempre logran impactos positivos. Paavola (2008) muestra que, en Tanzania, algunas de estas presentaron impactos no anticipados y degradaron la base de recursos naturales, lo que complicó la convivencia futura con la vulnerabilidad climática.

Para el caso de la sierra del Perú, el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) (2005) muestra que el hecho de que la mayor parte de la cuenca del Mantaro se encuentre bajo secano determina que esta zona sea muy susceptible frente a las sequías y temperaturas extremas, tanto altas (veranillos) como mínimas (heladas). Aunque el estudio reconoce la importancia de mejorar el manejo del agua como mecanismo para enfrentar el cambio climático, destaca que en el eventual escenario de una sequía prolongada, los efectos negativos no podrán ser reducidos mediante el uso de reservorios, ya que estos no pueden proporcionar agua indefinidamente; esta situación afectará tanto a la agricultura de riego como a la de secano. El estudio alerta que las variaciones de temperatura, de regularidad de las precipitaciones y fenómenos climáticos extremos aumentarán la presión sobre los recursos agrarios y reducirán la calidad de las zonas dedicadas a la producción agrícola y su rendimiento. Las tierras de secano se verían especialmente perjudicadas, pero también las tierras bajo riego, principalmente por los conflictos sociales entre los usuarios de agua potable, agua para riego y agua para la generación de energía hidroeléctrica, lo que alteraría el ya frágil panorama social de la cuenca (Consejo Nacional del Ambiente 2005: 83).

El estudio sugiere impulsar el riego como medida de adaptación estructural, y acompañar esta medida con mejoras en los sistemas de organización y gestión del agua.

Por otro lado, Escobal y Ponce (2010) resaltan el papel que cumple la incertidumbre climática en las estrategias de vida de los hogares rurales. Los autores mencionan cómo dicha incertidumbre puede reducir los incentivos para realizar actividades agrícolas y más bien generar incentivos alternativos para incursionar en la ganadería o en actividades no agropecuarias, típicamente vinculadas al sector servicios.



Es interesante anotar que el grueso de la literatura resalta los impactos negativos del cambio climático, mientras tiende a invisibilizar los efectos positivos que este podría tener en algunos espacios. Maletta y Maletta (2011) muestran que las principales causas del cambio climático en los Andes son el calentamiento global y el fenómeno de El Niño-oscilación del sur (ENSO por sus siglas en inglés). Las posibles manifestaciones de este cambio son un clima más cálido, el incremento de la precipitación promedio, sequías más habituales y prolongadas, inundaciones más frecuentes y riesgos asociados al retroceso de los glaciares. Los autores reconocen, sin embargo, que la presencia de los Andes genera múltiples microclimas, lo que causa mucha mayor incertidumbre en los escenarios de cambio climático. Maletta y Maletta (2011) sostienen que la población rural de la sierra tiene experiencia en adecuarse a varios climas y microclimas, lo que le permitirá estar mejor preparada para la adaptación al cambio climático en comparación con poblaciones que viven en climas más homogéneos. Los autores reconocen, además, que el principal problema de la sierra no son las altas temperaturas, sino la escasa e incierta precipitación, junto con la presencia de heladas y granizo a mayores altitudes. En ese contexto, postulan que los incrementos en la temperatura podrían permitir la expansión de la tierra cultivable en zonas altas: «El aumento de la temperatura reduciría los riesgos de heladas en alturas elevadas, extendiendo el periodo libre de heladas, lo que permitiría que vastas porciones de las planicies altoandinas puedan empezar a ser cultivadas» (Maletta y Maletta 2011: 361, traducción nuestra).

Sin embargo, ya sea para reducir la vulnerabilidad como para aprovechar eventuales ventanas de oportunidad, es central la necesidad de incrementar la inversión en sistemas de manejo del agua. Maletta y Maletta (2011) enfatizan la importancia de desarrollar proyectos de conservación en microcuencas, pequeños proyectos de irrigación, mejoras en el manejo de lagos alimentados por los glaciares en retroceso, mejoras en la eficiencia del riego y estrategias de inundación de planicies altoandinas, así como también de diversificar las fuentes de ingreso fuera de la agricultura, y mejorar el acceso de los hogares rurales a los mercados de productos y factores.

Tal como muestran Escobal y Armas en el capítulo que publican en este mismo libro, las unidades agropecuarias que operan en la sierra combinan una agricultura de subsistencia con una agricultura orientada hacia los mercados. Tanto el cambio climático como la mayor incertidumbre y vulnerabilidad que podrían estar asociadas a este fenómeno seguramente tendrán un impacto en la manera como se combinan ambos tipos de agricultura. Hassan y Nhemachena (2008) sostienen que el cambio climático podría precarizar a los pequeños agricultores y empujarlos a incrementar su producción para autoconsumo, a costa de una menor vinculación con los mercados de productos y el desaprovechamiento de potenciales economías de escala. Estos autores muestran también que la expansión del monocultivo genera mayores niveles de vulnerabilidad frente al cambio climático. De manera complementaria, varios estudios señalan que el cambio climático puede incrementar la volatilidad de los precios de los productos agrícolas, y reducir los incentivos para que los pequeños productores se conecten con los mercados de productos.

Frente a estos efectos negativos, Maletta y Maletta (2011) sostienen que existe un potencial impacto positivo que no debe ser desdeñado: la expansión de la frontera agrícola en la planicie altoandina podría convertirse en una oportunidad para que se expanda la oferta mercantil de la agricultura de la sierra. Obviamente, intervenciones dirigidas a mejorar el manejo del agua y la infraestructura que conecta a los agricultores con los mercados pueden contribuir, de manera simultánea, a reducir la vulnerabilidad de los productores agropecuarios y aprovechar las ventanas de oportunidad si es que estas aparecen.

En la siguiente sección presentaremos estimaciones del cambio climático para la sierra peruana y, posteriormente, analizaremos algunos de los efectos que este ha tenido tanto en el riego como en la diversificación de la cartera de cultivos.



## 2. EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SIERRA PERUANA

Con el fin de analizar la dirección y la dimensión del cambio climático en la sierra, se estimó la temperatura promedio y la precipitación promedio de los periodos de 30 años previos a cada año censal, 1994 y 2012. Para ello, se utilizó la información recogida por las estaciones meteorológicas del SENAMHI entre los años 1964 y 2012.<sup>2</sup>

Como es habitual en los estudios climatológicos, se agregaron los indicadores de temperatura y precipitación por trimestre, con el fin de simplificar la representación de los patrones climáticos. Cada trimestre representa una estación o periodo de tiempo en el que la Tierra gira alrededor del Sol. Siguiendo ese criterio, se agruparon los meses de mayo y julio alrededor del mes del solsticio de invierno (junio); el mismo procedimiento se siguió para el solsticio de verano (diciembre) y para los equinoccios (setiembre y marzo). Esta definición de trimestres, por supuesto, es consistente con el calendario agrícola de la sierra del Perú, que comienza en agosto y culmina en julio del siguiente año. Como resultado, los trimestres se agruparon de la siguiente manera: agosto-setiembre-octubre, noviembre-diciembre-enero, febrero-marzo-abril y mayo-junio-julio.

### 2.1. Tendencias reportadas por las estaciones meteorológicas ubicadas en la sierra

Antes de presentar las estimaciones del cambio climático, cabe preguntarse cuáles son las tendencias en temperatura y precipitación que se derivan de

---

2 Esta información se encuentra en la página web del SENAMHI, <[www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)>.

los datos reportados directamente por las estaciones meteorológicas durante este periodo.

Siguiendo la práctica de las instituciones especializadas en el monitoreo del cambio climático,<sup>3</sup> analizamos los cambios en temperatura y precipitación a partir del concepto de *anomalías*. Para una región específica, en un trimestre específico, la *anomalía de temperatura* está dada por la diferencia entre la temperatura observada —en ese lugar, trimestre y año— y el promedio de temperaturas de un periodo de referencia —en el mismo lugar y trimestre—. Así, la *anomalía* representa la diferencia entre la temperatura observada y la esperada. Este indicador permite hacer un análisis de tendencias más preciso cuando se estudian áreas extensas, que típicamente cuentan con una distribución de estaciones irregular o poco representativa de los espacios contenidos en su interior. Este es el caso de la información de las estaciones meteorológicas en el país.

Para identificar tendencias en las series de anomalías de temperatura y de precipitación, se definió como periodo de referencia el primer lapso de 30 años, 1964-1994, y se procedió a calcular la diferencia entre el promedio registrado en una estación/trimestre/año particular y el promedio de esa estación/trimestre durante el periodo de referencia. A continuación, se presentan las anomalías de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación de cada estación/trimestre/año.

Como se muestra en el gráfico 1, encontramos una tendencia claramente creciente en las temperaturas máximas promedio de la sierra.<sup>4</sup> Este incremento se acentúa sobre todo en los meses de inicio de siembra de la campaña grande de los principales productos de la sierra<sup>5</sup> (véase el trimestre agosto-octubre).

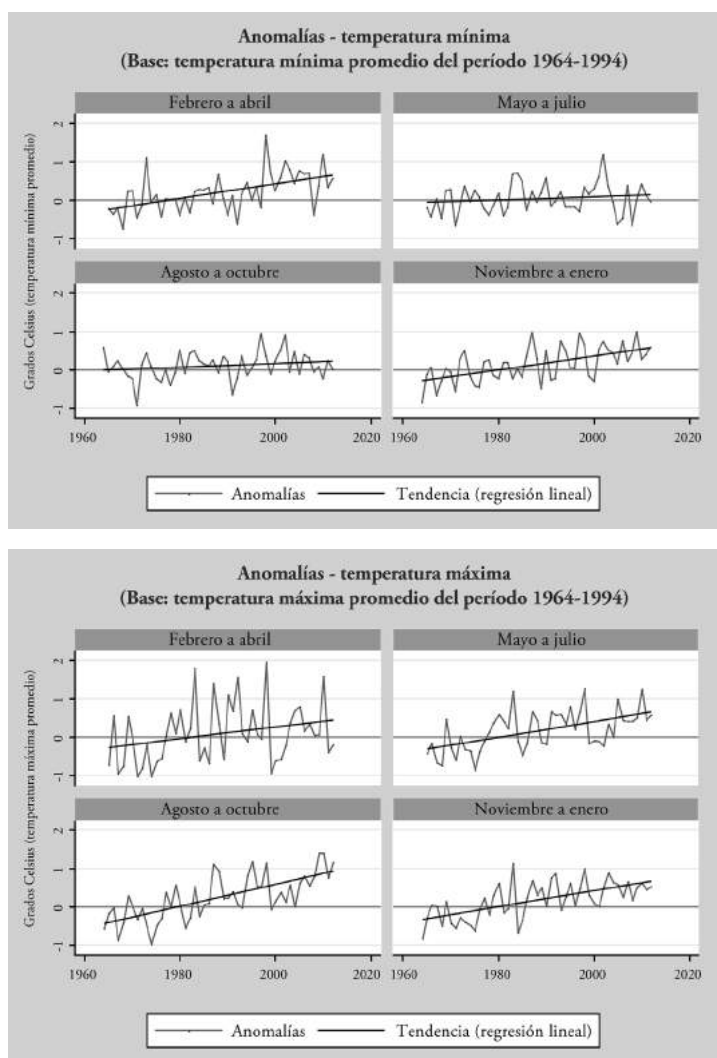
3 Nos referimos a instituciones como el SENAMHI del Perú, el Observatorio de la Tierra de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA por sus siglas en inglés) y la Administración Nacional de Océanos y Atmósfera de Estados Unidos (NOAA por sus siglas en inglés). Para mayor información sobre el seguimiento de anomalías a nivel global, véase <<https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/anomalies.php>; [http://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOD\\_LSTAD\\_M](http://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOD_LSTAD_M)>.

4 Es importante notar que las temperaturas máximas promedio se refieren al promedio de las temperaturas máximas reportadas en cada uno de los días de determinado mes; es decir, no se refieren a la temperatura máxima observada en ese mes. Lo mismo ocurre con las temperaturas mínimas promedio.

5 Disponible en <<http://sica.minag.gob.pe/sica/?q=calendario-de-siembras-y-cosechas>>.

## Gráfico 1

Tendencia de las anomalías en temperatura mínima y máxima entre 1964 y el 2012 (datos de las estaciones del SENAMHI localizadas en la sierra)



Fuente: Información de las estaciones meteorológicas del SENAMHI.  
Elaboración propia.

En menor medida, se observa también una tendencia creciente en el trimestre noviembre-enero. La tendencia en temperaturas mínimas, sin embargo, es ligeramente distinta: no se detecta una tendencia marcada en los trimestres de mayo-julio y agosto-octubre, aunque sí incrementos de la temperatura mínima promedio en los trimestres de la temporada de lluvias.

En términos de precipitación, debido a la diferencia en precipitación promedio entre la época lluviosa y la época seca, el gráfico 3 muestra por separado las anomalías para cada una. Si bien la variabilidad es bastante alta, se observa cierta tendencia creciente en la precipitación de trimestres lluviosos y una reducción en la precipitación en el trimestre de inicio de la campaña agrícola (lo que podría estar llevando a retrasos en el inicio de la siembra de ciertos productos agrícolas).

Es importante señalar que las tendencias mostradas en los gráficos 1 y 2 se basan en el registro de las estaciones meteorológicas del SENAMHI, y por ello están limpias de los errores asociados a procesos de estimación como los que utilizamos posteriormente para relacionar el cambio climático con las variables de interés vinculadas a los censos agropecuarios.<sup>6</sup> Sin embargo, en la medida en que las estaciones no están distribuidas de tal manera que aseguren la representatividad de los espacios de la sierra, estos gráficos no necesariamente representan las tendencias promedio de esta región.

A continuación, presentaremos una estrategia de estimación de la temperatura y la precipitación que sí permite estimar las tendencias promedio de la sierra, y además sirve como base para la estimación —a nivel distrital o provincial— de algunos efectos del cambio climático en las estrategias productivas de los agricultores de la sierra.

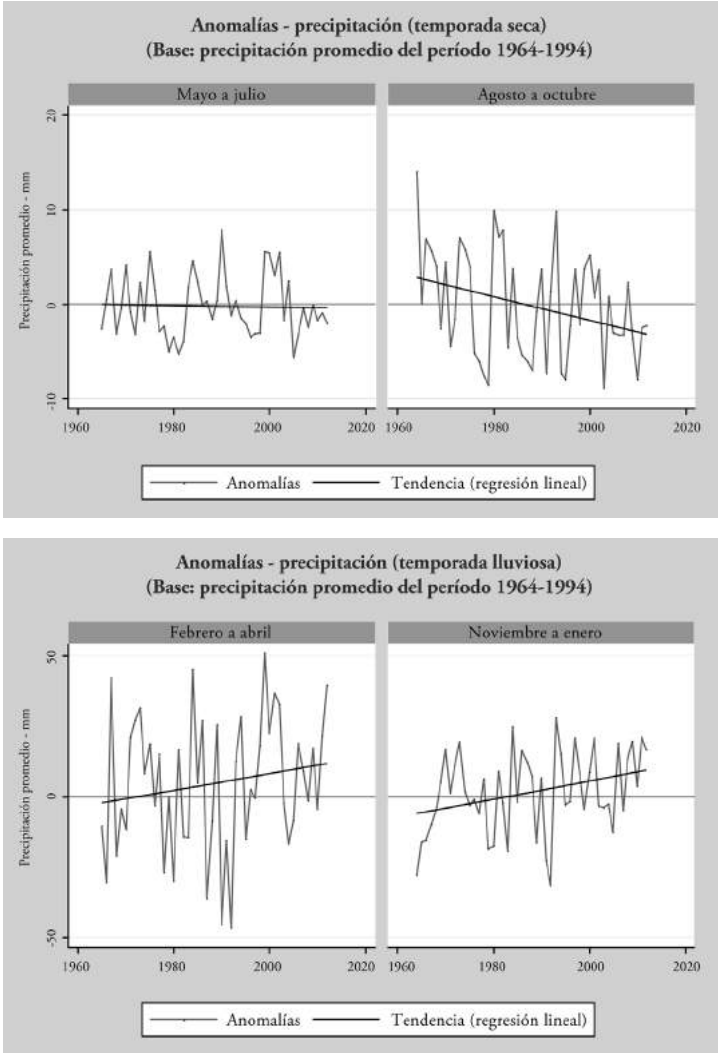
## 2.2. Estrategia metodológica de estimación del cambio climático en la sierra

La estimación de la temperatura y la precipitación implementada en este estudio sigue la metodología desarrollada por Lavado, Ávalos y Buytaert

---

<sup>6</sup> Un paso previo a la construcción de los gráficos de tendencias fue la identificación de *outliers* debido a errores de digitación o codificación de error.

**Gráfico 2**  
**Tendencia de las anomalías en la precipitación mensual\***  
**entre 1964 y el 2012**  
**(datos de las estaciones del SENAMHI localizadas en la sierra)**



\* Promedio trimestral de la precipitación mensual acumulada.

Fuente: Información de las estaciones meteorológicas del SENAMHI.

Elaboración propia.



(2015) para el EIECCP. La información base utilizada para las estimaciones incluye datos diarios de temperatura máxima, mínima y precipitación del SENAMHI reportados por las estaciones meteorológicas entre los años 1964 y 2012, e información satelital de altitud (Jarvis y otros 2008).

Como es conocido, los datos disponibles de las estaciones meteorológicas varían en el tipo de variables climáticas recogidas —temperatura, precipitación, dirección de los vientos, entre otras—, la calidad de los reportes y el número de años durante los cuales las estaciones han estado operativas. En este estudio, se trabajó únicamente con las estaciones que reportaron más del 50% de datos diarios para los dos periodos analizados: octubre de 1964 a noviembre de 1994 y octubre de 1982 a noviembre del 2012. Si bien esto implicó una disminución del número de estaciones disponibles para estimar cada periodo (1964-1994 y 1982-2012), permitió reducir sustancialmente el riesgo de introducir en el indicador de cambio climático sesgos asociados a la inclusión de estaciones que se encontraban operativas en solo uno de los dos periodos (por ejemplo, estaciones instaladas después de 1994).<sup>7</sup> En el anexo 1 se presentan los detalles metodológicos de la estimación y los ejercicios de validación asociados, incluida la comparación con los resultados del EIECCP.

Respecto a la construcción de promedios distritales de temperatura y precipitación, cabe señalar que la interpolación de cada variable —temperatura y precipitación— para un mes específico se hizo para cada cuadrícula de un kilómetro cuadrado. Sobre la base de estas interpolaciones, se obtuvieron dos estimaciones de cada variable —temperatura y precipitación— para cada una de las cuadrículas, una estimación promedio del periodo 1964-1994 y una estimación promedio del periodo 1982-2012. Estas estimaciones permitieron construir el indicador de cambio climático —de las variables temperatura y precipitación— restando el promedio del mes/variable del periodo 1964-1994 del promedio del mismo mes/variable del periodo 1982-2012.

Es importante resaltar que los ejercicios de validación de las estimaciones sugieren que la precisión de los indicadores de cambio —en temperatura

7 Se revisaron los datos de las estaciones para identificar posibles problemas de inconsistencia/*outliers*. Los casos problemáticos fueron imputados por la mediana del mes/periodo de esa estación.

y precipitación— es sustancialmente mayor que la de los indicadores en niveles. Por ello, este estudio se concentra en el análisis de los indicadores de cambio climático (y no en las variables en niveles).

### 2.3. Estimaciones de cambio climático en la sierra

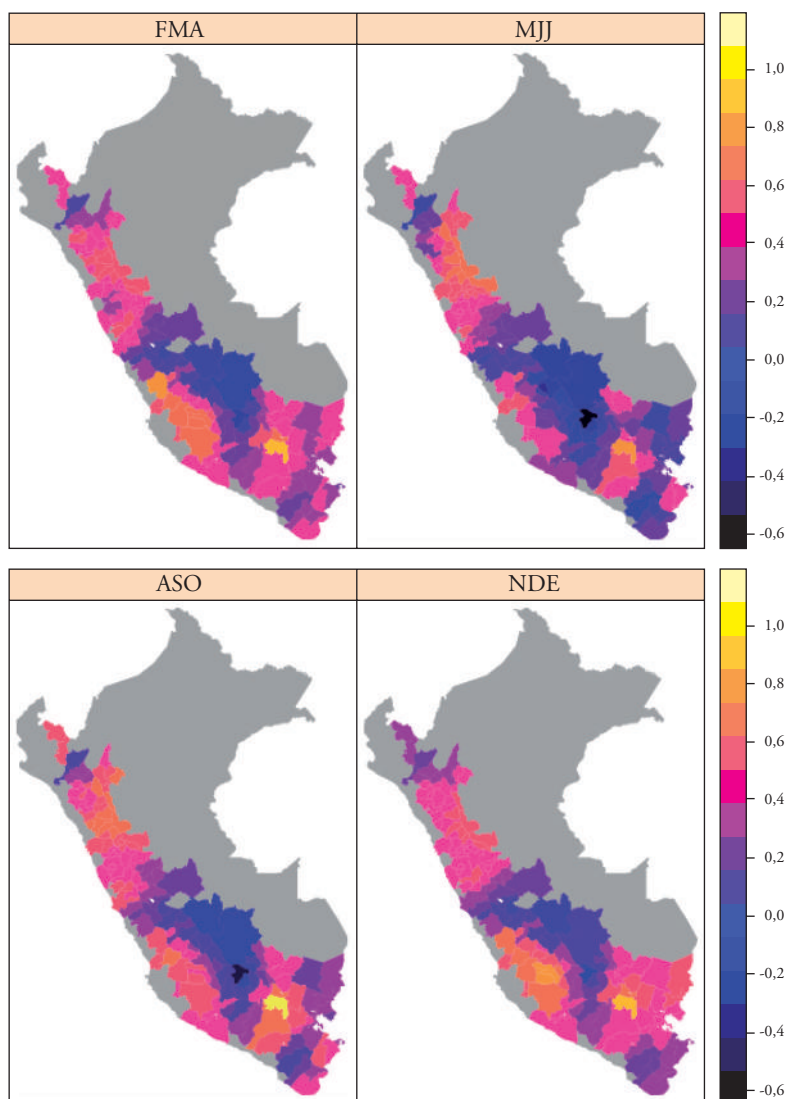
En esta subsección se presentan los resultados de la estimación del cambio climático en la sierra. Nos interesa subrayar que las estimaciones promedio de temperatura y precipitación que utilizamos tanto en esta subsección como en la sección 3 corresponden únicamente a áreas de la sierra que están por debajo de los 4800 metros de altitud, para evitar sobrerrepresentar cambios climáticos de áreas donde no existe agricultura. Si bien estos cambios son importantes para la regulación de los ciclos hídricos y pueden haber tenido consecuencias indirectas para los agricultores de partes más bajas, la modelación de la siguiente sección no incorpora la modelación del error espacial o de las consecuencias que tendría el cambio climático de las partes altas de las cuencas sobre las decisiones de producción de los agricultores de las partes más bajas. Este tipo de modelación excede los límites impuestos por la información disponible, además de que constituye, en sí misma, un ejercicio teórico bastante más complejo que el aquí propuesto.

Los mapas 1, 2 y 3 muestran los patrones de cambio climático a nivel provincial. Es necesario aclarar que si bien en la realidad las provincias resaltadas en color en los mapas pueden contener no solo distritos de sierra sino también de costa o de selva, la información representada en los mapas incluye únicamente a los distritos de sierra de estas provincias. Por ello, el cambio en las condiciones climáticas en una provincia no necesariamente representa lo que ha sucedido en la mayor parte de su territorio, sino únicamente lo que ha pasado en promedio en sus distritos de sierra.<sup>8</sup>

---

8 Como se mencionó en la introducción, la definición de *región* a nivel de distrito se elaboró sobre la base de la definición de *región natural* de los sectores de empadronamiento agropecuario (SEA) del Censo Agrario del 2012. En este estudio, un distrito es considerado de sierra si más de la mitad de la superficie agrícola se encuentra en un SEA de sierra.

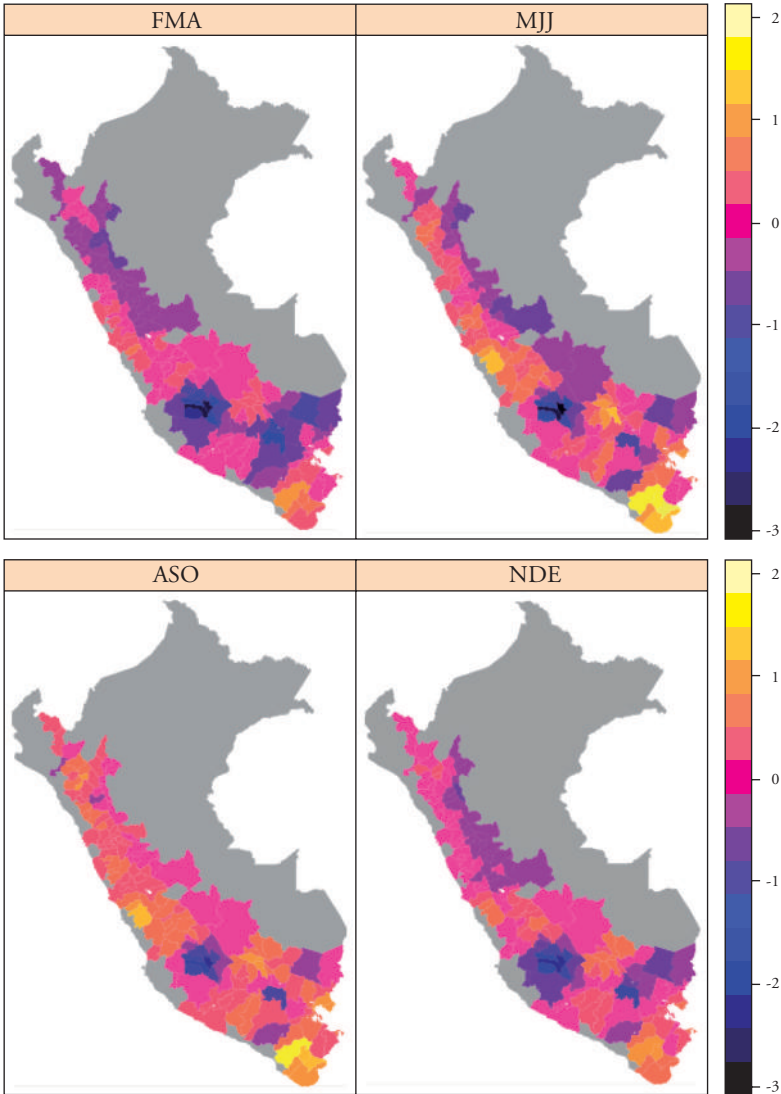
**Mapa 1**  
**Cambio en la temperatura media entre los periodos**  
**1964-1994 y 1982-2012**



**ASO D:** agosto-setiembre-octubre. **NDE D:** noviembre-diciembre-enero. **FMA D:** febrero-marzo-abril. **MJJ D:** mayo-junio-julio. Periodo 1: 1994, periodo 2: 2012.

El valor asignado a cada provincia corresponde al promedio de valores distritales ponderado por el tamaño del distrito respectivo. Este promedio provincial toma en cuenta únicamente los valores de los distritos ubicados en la sierra. Se excluyeron las áreas cuya altitud supera los 4800 metros.

**Mapa 2**  
**Cambio en el rango de temperaturas entre los periodos**  
**1964-1994 y 1982-2012**



**ASO D:** agosto-setiembre-octubre. **NDE D:** noviembre-diciembre-enero. **FMA D:** febrero-marzo-abril. **MJJ D:** mayo-junio-julio. Periodo 1: 1994, periodo 2: 2012

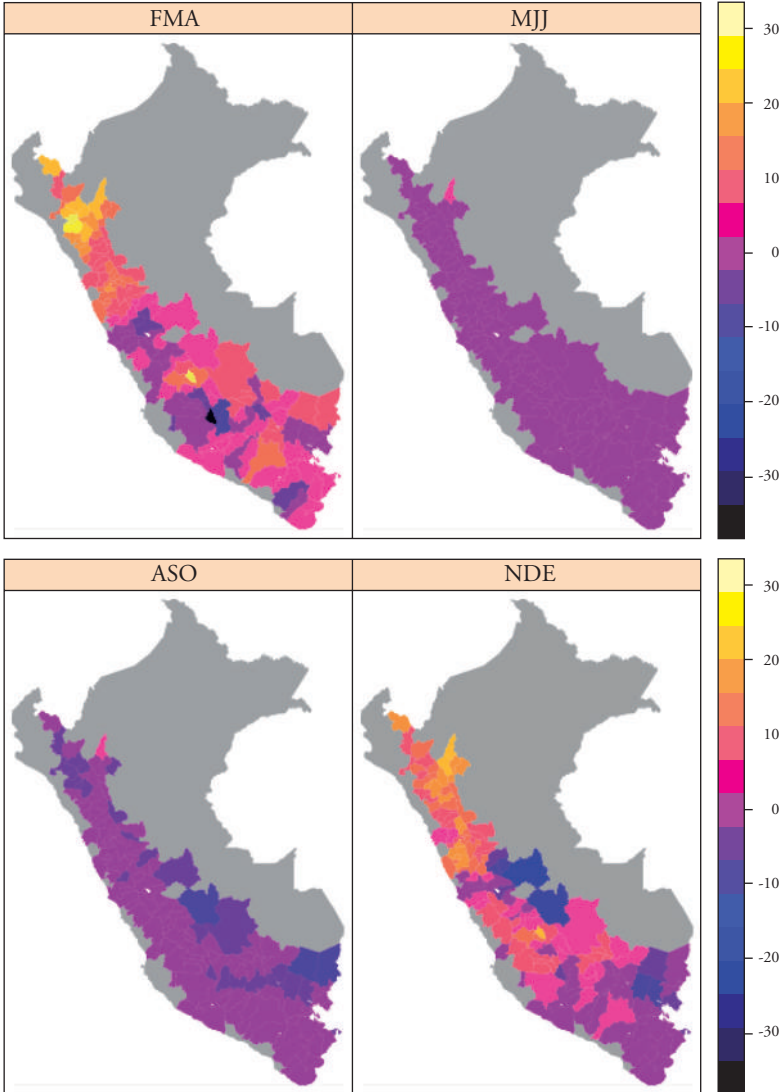
El valor asignado a cada provincia corresponde al promedio de valores distritales ponderado por el tamaño del distrito respectivo. Este promedio provincial toma en cuenta únicamente los valores de los distritos ubicados en la sierra. Se excluyeron las áreas cuya altitud supera los 4800 metros.

Los mapas 1 y 2 muestran resultados consistentes con lo señalado en la subsección 2.1. La temperatura promedio se ha incrementado en la mayoría de los territorios de la sierra —en especial en la sierra norte— en los trimestres de mayo-julio y agosto-octubre.

Aunque no es posible analizar la variabilidad climática a partir de estas estimaciones, el mapa 2 muestra el cambio en el rango promedio de temperaturas. Este se construye a partir de la diferencia, para una provincia específica, entre la temperatura máxima promedio y la temperatura mínima promedio del mismo periodo. Destaca en este mapa el incremento en el rango de temperaturas en los trimestres de mayo a julio y de agosto a octubre en la mayor parte del territorio de sierra.

Finalmente, el mapa 3 muestra el patrón de cambio heterogéneo sugerido en el gráfico 2. En el mapa, las estimaciones sugieren que se ha producido un incremento en la precipitación promedio durante la temporada de lluvias en la sierra norte, especialmente en el primer trimestre del año. En la sierra sur, en cambio, no se observan cambios en el trimestre noviembre-enero. En el primer trimestre, tanto la sierra sur como la sierra centro muestran resultados mixtos. Cabe destacar que la precipitación se ha reducido durante el inicio de la campaña agrícola (agosto-octubre) en algunas zonas de la sierra norte y de la sierra sur.

**Mapa 3**  
**Cambio en la precipitación promedio\* entre los periodos**  
**1964-1994 y 1982-2012**



**ASO D:** agosto-setiembre-octubre. **NDE D:** noviembre-diciembre-enero. **FMA D:** febrero-marzo-abril. **MJJ D:** mayo-junio-julio. Periodo 1: 1994, periodo 2: 2012.

\* Promedio trimestral de la precipitación mensual acumulada (mm). El valor asignado a cada provincia corresponde al promedio de valores distritales ponderado por el tamaño del distrito respectivo. Este promedio provincial toma en cuenta únicamente los valores de los distritos ubicados en la sierra. Se excluyeron las áreas cuya altitud supera los 4800 metros.



### **3. EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ESTRATEGIAS PRODUCTIVAS DE LOS AGRICULTORES DE LA SIERRA: USO DE RIEGO Y GRADO DE DIVERSIFICACIÓN DE CULTIVOS**

Como se mencionó en la sección 1, la literatura documenta nuevos riesgos, retos y oportunidades que enfrentan los agricultores a raíz del cambio climático; en el caso peruano, mayor temperatura promedio, cambios en la precipitación e impredecibilidad (de heladas). Las medidas de adaptación incluyen el abandono total de la agricultura —dedicación exclusiva a la ganadería, migración a centros poblados más grandes para dedicarse al sector servicios u otro menos riesgosos—, la reducción de la dedicación a la agricultura —incremento de la dedicación a la ganadería, migración temporal hacia lugares que ofrezcan trabajo asalariado— y la modificación de las estrategias de producción agrícola para enfrentar mejor los nuevos riesgos —implementación de cultivos resistentes a las nuevas condiciones y aprovechamiento de las potenciales oportunidades que se puedan presentar—. Esta investigación alude a esta última en la medida en que se concentra en analizar algunos de los cambios ocurridos en las estrategias de diversificación de cultivos y en el uso de riego.

#### **3.1. Cambios en las estrategias productivas y características de los agricultores de la sierra entre los años 1964 y 2012**

Los cambios en las condiciones climáticas de la sierra rural, documentados en la sección anterior, han ido de la mano con un conjunto de transformaciones en las estrategias de vida de los productores agropecuarios. Como señala el informe oficial del INEI sobre los resultados del Censo Agropecuario del 2012, los hogares de la sierra rural han experimentado cambios respecto a



su situación en 1994, tanto en su composición demográfica como en sus estrategias de producción —tecnología productiva, cambio en la cédula de cultivos, entre otros— y conexión a mercados (Instituto Nacional de Estadística e Informática 2013).

En términos demográficos y educativos, en la sierra rural<sup>9</sup> se observa un incremento en la proporción de unidades agropecuarias conducidas por mujeres (de 23% a 35%), quienes son, en promedio, más jóvenes que sus pares varones; un incremento en la edad promedio de los productores agropecuarios (de 47 a 50 años); y una reducción en el número de miembros del hogar (de 4,8 a 3,3 miembros por hogar en promedio), asociada a una menor fecundidad y a la migración de los más jóvenes.

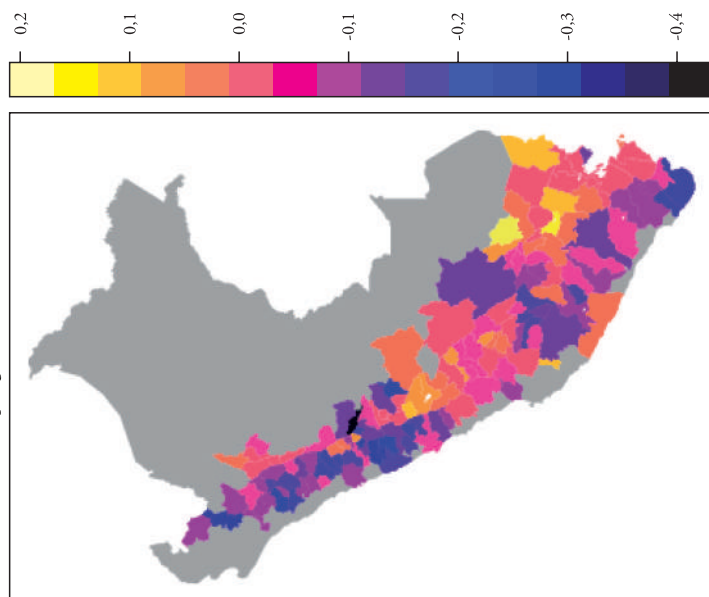
En términos de tecnología de producción, en la medida en que un tercio de los productores agropecuarios de la sierra señalan como principal factor limitante para el desarrollo de cultivos la falta de agua, destaca el tema de uso de riego. Según información de los censos de 1994 y el 2012, se observa un ligero incremento, de 31% a 38%, en la proporción de la superficie agrícola cultivada que dispone de riego —en alguna de sus modalidades: por gravedad, aspersión, goteo o exudación—. Sin embargo, cuando se observa el cambio en la proporción de productores agropecuarios que utilizan alguna modalidad de riego —por gravedad, aspersión, goteo o exudación—, se constata la reducción del 46% al 39% entre 1994 y el 2012. Esta diferencia entre una ligera tendencia creciente en la *superficie* agrícola bajo riego y una tendencia decreciente en el porcentaje de *productores o unidades agrícolas* que acceden a algún tipo de riego sugiere que el incremento en el uso de riego está determinado sobre todo por unidades agrícolas más extensas.

En términos geográficos, en el mapa 4-a se muestra cierta heterogeneidad en los patrones de cambio de uso de riego en la sierra. En particular, el mapa muestra que la reducción en el uso de riego está relativamente concentrada en

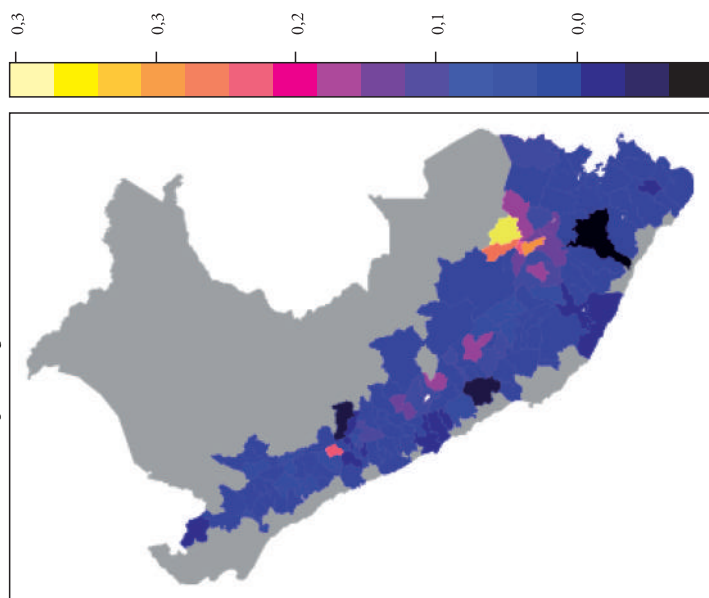
9 Como se señaló anteriormente, en este estudio se considera que un distrito es de sierra si más de la mitad de su superficie agrícola se encuentra en sectores de empadronamiento agrícola (SEA) de sierra, según el Censo Agropecuario del 2012. La definición de zonas de sierra a nivel distrital ha permitido emparejar la información de los censos agropecuarios de 1994 y el 2012 a niveles geográficos desagregados.

**Mapa 4****Mapa 4-a**

Cambio en la proporción de agricultores que usan riego  
(por gravedad o tecnificado)

**Mapa 4-b**

Cambio en la proporción de agricultores que usan riego tecnificado  
(aspersión, goteo o exudación)



El valor asignado a cada provincia corresponde al promedio de valores distritales ponderado por el tamaño del distrito respectivo. Este promedio provincial toma en cuenta únicamente los valores de los distritos ubicados en la sierra. Se excluyeron las áreas cuya altitud supera los 4800 metros.

la sierra norte, área en la que se observan los mayores incrementos promedio en precipitación mensual en temporada de lluvias (mapa 3), mientras que los sectores en los que el riego ha aumentado parecen estar más concentrados en la sierra sur.

Cabe señalar que la ligera reducción en el uso de riego en la sierra tiene detrás tendencias distintas, dependiendo del tipo de riego utilizado. Mientras que la proporción de productores que usan riego por gravedad como único método se ha reducido del 46% al 35%, el uso de riego tecnificado —por aspersión, por goteo o por exudación— se ha incrementado del 1% al 5% de los productores agropecuarios. Como se muestra en el mapa 4-b, si bien el uso de riego tecnificado es todavía poco extendido en la sierra —a diferencia de la costa, donde según el INEI (2012) el 85% del riego es tecnificado, fundamentalmente por goteo—, el incremento es sustantivo y está concentrado en algunos sectores de la sierra sur y, en menor medida, de la sierra central.

Como es ampliamente conocido, los productores de la sierra del Perú han utilizado históricamente estrategias de diversificación de cultivos tanto para enfrentar los riesgos asociados a eventos climáticos extremos como para optimizar el uso de parcelas ubicadas en espacios de distinta altitud y pendiente, buscando potenciar el rendimiento de cultivos asociados y mantener la fertilidad de los suelos.<sup>10</sup> Recientemente, con el mayor acceso a los mercados, no solo la cartera de cultivos sino su grado de diversificación han ido adaptándose para aprovechar las nuevas oportunidades generadas por este mayor acceso o para enfrentar en mejores condiciones la nueva competencia. En la práctica, sin embargo, no existe un umbral promedio ideal de diversificación, y se han planteado argumentos tanto a favor como en contra de que esta se intensifique, por sus efectos sobre el bienestar del hogar agropecuario. Cabe señalar que no es materia de este estudio discutir sobre cuán deseable es una mayor diversificación o una mayor concentración

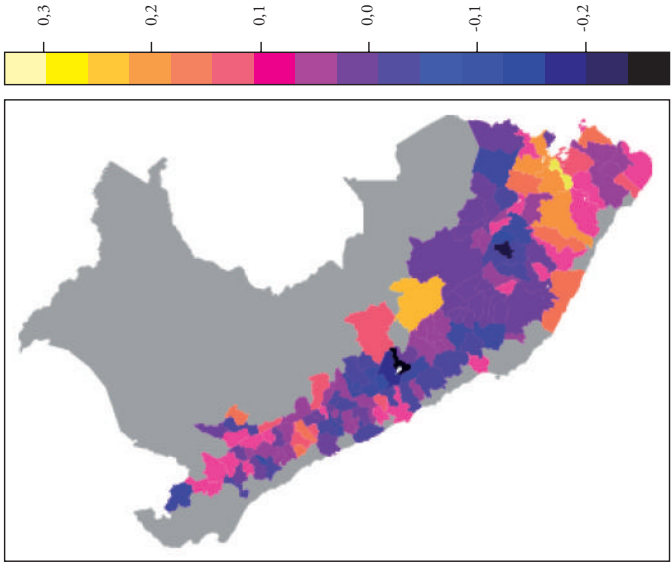
---

10 En la medida en que sus parcelas suelen estar ubicadas en zonas altitudinales ligeramente distintas, la necesidad impuesta por las condiciones bioclimáticas de cada una exige estrategias de diversificación que agricultores de zonas menos diversas no requieren.

Mapa 5

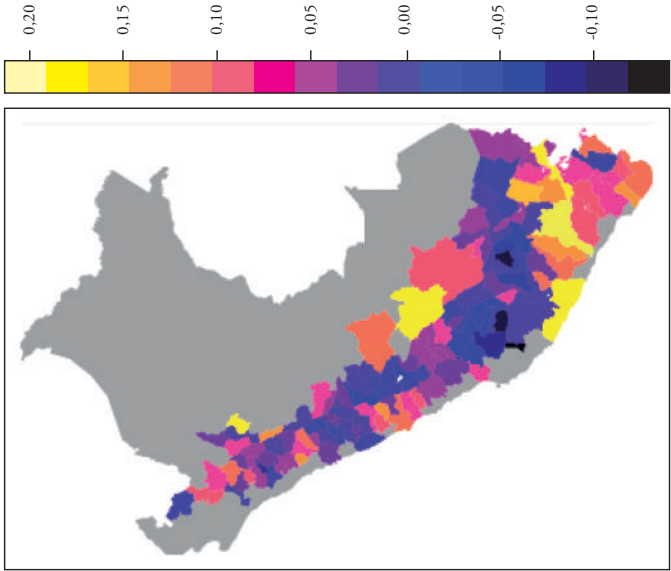
Mapa 5-a

Cambios en el grado de concentración de los cultivos  
(1: máxima concentración)



Mapa 5-b

Cambios en el grado de concentración de los cultivos agrupados  
por tipo de alineamiento (1: máxima concentración)



El indicador del grado de concentración de cultivos es el índice de Herfindahl (de cultivos individuales o de grupos de cultivos) a nivel de la unidad agropecuaria. El valor asignado a cada provincia corresponde al promedio de valores distritales ponderado por el tamaño del distrito respectivo. Este promedio provincial toma en cuenta únicamente los valores de los distritos ubicados en la sierra. Se excluyeron las áreas cuya altitud supera los 4800 metros.

de cultivos, sino más bien documentar el efecto agregado que el cambio climático ha tenido en la mayor concentración de cultivos que se constata a partir de la comparación de los censos de 1994 y del 2012.

Como se muestra en el mapa 5-a, la sierra sur y, en menor medida, la sierra norte muestran una tendencia más acentuada hacia la concentración de cultivos. En particular, destacan las provincias de Caylloma (Arequipa), y San Román, Lampa, Azángaro y Huancané (Puno). En la sierra central, por su parte, se observa un escenario heterogéneo, pero sin sectores en los que se haya incrementado sustancialmente la concentración de cultivos.

En el análisis que sigue, se explora el efecto que han tenido los cambios en las condiciones climáticas de la sierra tanto sobre el uso del riego como sobre el grado de diversificación de los cultivos. Se toman en consideración los cambios descritos sobre la demografía y la educación del hogar agropecuario, así como los ocurridos en el entorno, que podrían haber afectado sustancialmente las decisiones productivas de los agricultores de la sierra. Estos cambios incluyen la mejora de los caminos rurales y el acceso a los mercados, la mejora en el acceso a las telecomunicaciones —canales de información—, el tipo de programas de apoyo productivo implementados en la sierra por los sectores público y privado —ONG, empresas mineras—, entre otros.

### **3.2. Estimación del efecto del cambio climático en las decisiones productivas de uso de riego y el grado de diversificación agrícola<sup>11</sup>**

Estimar el efecto del cambio climático sobre las decisiones productivas de los agricultores requiere, en principio, que se observe al productor en, por lo menos, dos momentos. Sin embargo, los censos agrarios no disponen

---

11 El análisis que se describe en esta sección se concentra en las decisiones del productor agrícola, por lo que la unidad básica es la unidad agropecuaria. Por ello, se utiliza como ponderador el número de productores agrícolas del distrito, y no la superficie agrícola de este. Esto permite evitar posibles sesgos por sobrerepresentación de distritos con pocos productores en la identificación de los parámetros atribuidos a la sierra en general.

de información en este nivel de desagregación. Por ello, la estrategia de estimación delineada a continuación se basa en observaciones promedio a nivel distrital.<sup>12</sup> Así, se busca estimar el efecto del cambio climático —representado por indicadores de temperatura y precipitación— sobre la proporción distrital de unidades agropecuarias que cuentan con riego en por lo menos una de sus parcelas, y el efecto del cambio climático sobre el grado de diversificación de los cultivos observado en promedio en el distrito. Para evitar confusiones en la interpretación de los resultados —debido a que el indicador de diversificación es el índice de Herfindahl, que alcanza su valor máximo en 1 cuando la concentración de cultivos es completa—, en adelante nos referiremos al «grado de concentración» de los cultivos.

### Las decisiones productivas de los agricultores

Las decisiones productivas de los agricultores de la sierra dependen de un conjunto de factores —condiciones contemporáneas, o experiencias y condiciones anteriores—, algunos de los cuales están bajo su control y otros no. Con el fin de obtener estimadores consistentes (insesgados) del efecto del cambio climático en las decisiones productivas de los agricultores, es necesario aislar este efecto del que tienen otros factores que también influyen en estas decisiones. Para ello, requerimos modelar las decisiones haciendo explícitos los vínculos entre los factores asociados, y entre estos y las decisiones del productor.

Antes de establecer supuestos, por razones de practicidad y viabilidad —dadas las limitaciones de información—, podemos pensar en un agricultor  $i$  que toma una decisión productiva  $Y$  en el periodo  $t$  —decisión asociada a la tecnología de riego o al grado de concentración en la cartera cultivos de la

---

12 El emparejamiento de distritos en periodos enfrentó un conjunto de retos debido a la creación de nuevos distritos y provincias entre 1994 y el 2012, así como a la consecuente pérdida de territorio de algunos distritos de los que proceden los recientemente creados. Por ello, el emparejamiento de distritos requirió la agregación a nivel de distritos de procedencia. Lo mismo se hizo para el emparejamiento de provincias, en el caso de los indicadores provinciales utilizados en la estimación.

campaña agrícola de ese periodo—, e identificar el conjunto de factores que pueden influir en la toma de la decisión tecnológica o de cartera de cultivos:

$$Y_{it} = f(X_{b,it-s}, X_{a,it-s}, X_{d,it-s}, X_{e,it-s}, X_{k,it-s}, X_{hit-s}), s \leq t \quad (1)$$

Entre los factores que pueden influir en la decisión del productor respecto al uso de tecnologías de riego y al grado de concentración de sus cultivos, se encuentran las condiciones biofísicas  $X_{b,it}$  que enfrenta, que pueden o no cambiar a lo largo del tiempo. Estas condiciones afectan la rentabilidad esperada de la inversión en tecnología de riego —o de la implementación de una estrategia de mayor concentración de tipos de cultivos, según sea el caso—, e incluyen factores como la temperatura, la humedad, la precipitación, el viento, la radiación solar, y también la cercanía de fuentes de agua y su caudal, entre otros.<sup>13</sup> En particular, nuestra hipótesis es que en lugares donde la precipitación del trimestre en el que se inicia la campaña grande se ha incrementado más respecto del promedio de la zona, la reducción en el uso de riego será relativamente mayor, dado que las restricciones de agua son menores. Esperamos lo opuesto en el caso de incrementos de la temperatura, dado que la cantidad de agua disponible para las plantas se reduce por efecto de la transpiración y evaporación.

Respecto al grado de concentración de los cultivos, no tenemos hipótesis tan claras, dado que los cambios en la temperatura pueden hacer viables en la zona cultivos que antes no lo eran. Por un lado, estos nuevos cultivos podrían añadirse a algún otro cultivo tradicional o reemplazarlo, con lo cual el grado de diversificación se mantendría o incrementaría. Por otro lado, sin embargo,

13 En la estimación enfrentamos un conjunto de retos para identificar el efecto de las variables climáticas, punto de interés en este estudio; como se verá más adelante, tomaremos un conjunto de decisiones sobre la forma funcional que es viable utilizar, o el indicador que representará a cada uno de estos factores. Por ejemplo, varias de las condiciones biofísicas mencionadas correlacionan fuertemente, por lo que la estimación puede incluir solo algunas en representación de las demás, para evitar problemas de colinealidad. Asimismo, la forma funcional que asumamos establece implícitamente supuestos sobre los canales causales que podrían estar detrás del parámetro que se quiere estimar. No obstante, si bien podemos argumentar a favor de algunos canales sobre otros, dada la información disponible, la derivación y estimación de un modelo estructural excede largamente los alcances de este estudio, por lo que nos limitamos a hacer uso de formas reducidas.

el incremento de temperatura también podría hacer viable el cultivo de productos más rentables en el mercado e inducir a una mayor concentración.

Un factor asociado al cambio climático que parece ser central en la decisión de uso de riego, y del tipo de cultivos implementados en la sierra, es la variabilidad e impredecibilidad climática. Algunos estudios señalan que la incertidumbre climática tiende a reducir los incentivos de desarrollar actividades agrícolas, privilegiando la incursión en otros sectores económicos, como la ganadería o el sector servicios (Escobal y Ponce 2010). Lamentablemente, para efectos de este estudio no disponemos de información representativa sobre variabilidad climática para la sierra.

Adicionalmente, la decisión del productor depende de su conocimiento en materia de producción agrícola —sobre cómo producir, pero también sobre cómo enfrentar el riesgo y la incertidumbre—, conocimiento que, a su vez, depende tanto de su experiencia como de su capacidad para obtener y usar eficientemente información sobre tecnologías, mercados, etcétera. Es importante señalar que la experiencia del agricultor está en función de las condiciones climáticas o de los precios relativos que enfrentó en el pasado.

La disponibilidad de otros activos también influye en las decisiones tecnológicas y de concentración de cultivos del agricultor. Estos activos incluyen las herramientas y el equipamiento para la producción con los que cuenta, o a los que accede vía arreglos con la comunidad, la municipalidad, familiares o amigos. La mano de obra familiar disponible es un activo adicional importante en los hogares rurales de la sierra. Estos activos privados están representados por  $X_{k,it}$  (equipamiento, herramientas, capital social),  $X_{d,it}$  (factores demográficos del hogar) y  $X_{e,it}$  (conocimiento y experiencia).

Es importante notar que el capital social del productor agrícola —que forma parte de  $X_{k,it}$ , representado, por ejemplo, por su participación en una comunidad o grupo de productores— puede constituir un recurso importante a la hora de implementar tecnologías de riego o modificar carteras de cultivo, porque permite reducir riesgos, capitalizar aprendizajes colectivos, mejorar las condiciones de acceso a mercados —por ejemplo facilitando compras (o ventas) conjuntas de insumos (productos)—, entre



otros beneficios. En este sentido, la innovación por parte de agricultores cercanos puede generar incentivos a innovar, e inducir al productor  $i$  a modificar su estrategia productiva. Esta influencia, sin embargo, puede ir en sentido opuesto, determinando que la participación en comunidades o grupos de productores imponga trabas a la innovación o el cambio en estrategias de cultivo.<sup>14</sup>

Adicionalmente, las decisiones productivas —especialmente en una actividad tan vulnerable a eventos climáticos extremos como la agricultura— varían entre individuos en función de características no observables o medibles, como la aversión al riesgo o a la incertidumbre por parte del productor, o su propensión a innovar o a hacer buenos negocios («empresarialidad»)<sup>15</sup> ( $X_{h,ii}$ ). La vinculación entre estas características y otros factores que influyen en las decisiones del productor —como  $X_{e,ii}$  o  $X_{k,ii}$ — sugieren la necesidad de utilizar formas funcionales que permitan obtener estimadores consistentes, a pesar de existir una correlación entre factores no observables y factores observables que influyen en las decisiones del productor. La estrategia de estimación propuesta más adelante atiende a esta necesidad.

Finalmente, la adopción de tecnologías y estrategias de diversificación o concentración de cultivos en la sierra puede estar fuertemente influenciada por la presencia de actores externos,  $X_{a,ii}$ , como programas de desarrollo rural o asistencia a poblaciones vulnerables debido a la alta concentración de productores agrícolas en situación de pobreza en esta región. Entre los años 1994 y 2012, se han implementado en la sierra diversos proyectos que, como parte de sus intervenciones, han difundido el riego tecnificado, además de incidir en las estrategias productivas de los agricultores induciendo a una mayor o menor concentración de su cartera de cultivos —en algunos casos, han buscado mejorar las condiciones de seguridad alimentaria de los hogares rurales—. Algunos de estos proyectos son Aliados, Sierra Sur y proyectos

14 En Escobal, Ponce y Hernández Asensio (2012) se analiza un estudio de caso que muestra complejidades de este tipo.

15 La diferencia entre *riesgo* e *incertidumbre* radica en el conocimiento o desconocimiento de la distribución de probabilidad de que ocurran eventos adversos: pérdida de la cosecha, plagas, eventos climáticos extremos —sequía, helada—, entre otros.

públicos específicos para implementar infraestructura de riego, así como, más recientemente, Mi Chacra Productiva y Mi Chacra Emprendedora, entre otros. Asimismo, durante el periodo intercensal se ha desplegado un conjunto de intervenciones privadas, como por ejemplo Sierra Productiva, entre otras. Cabe señalar que la influencia sobre las decisiones de un agricultor por parte de proyectos impulsados por actores externos puede estar mediada por la participación de sus pares o por la decisión de la comunidad; por ejemplo, si otros miembros de la comunidad están implementando riego tecnificado o un cambio en su cartera de cultivos, es más probable que el agricultor se anime a hacerlo también.

### Estrategia de estimación

Con el fin de estimar la influencia de las condiciones climáticas en los agricultores de la sierra durante el periodo analizado (1994-2012), utilizamos una aproximación lineal en forma reducida de la ecuación (1). En esta especificación,  $Y_{it}$  representa la decisión productiva —uso de riego o grado de concentración de la producción agrícola— que toma el productor agrícola  $i$  en el periodo  $t$  (1994, 2012). Como se mencionó anteriormente, para efectos de la estimación es necesario imponer un conjunto de supuestos, debido a las limitaciones de la información disponible. En primer lugar, asumimos una forma funcional lineal, que permite una correspondencia más directa entre los parámetros que obtendríamos si contáramos con información individual en vez de distrital, manteniendo las propiedades estadísticas de los estimadores.

$$\begin{aligned}
 Y_{it} = & \alpha + \bar{x}_i\beta_1 + (x_{it} - \bar{x}_i)\beta_2 + z_i\beta_4 + \\
 & (\bar{x}_i \cdot z_i)\beta_5 + ((x_{it} - \bar{x}_i) \cdot z_i)\beta_6 + w_{it}\beta_3 + \mu_{it} \\
 \mu_{it} = & v_i + \gamma_t + \varepsilon_{it}, \varepsilon_{it} \sim i. i. d.; t = 1994, 2012
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Las variables  $x_{it}$  y  $w_{it}$  representan un conjunto de factores observables que influyen en la decisión de los productores del distrito  $i$ , que varían en el tiempo. En particular,  $x_{it}$  representa el nivel promedio de temperatura

promedio y precipitación mensual estimado para el periodo de los 30 años previos al momento del censo. Por su parte,  $(x_{it}-\bar{x}_i)$  representa la desviación de la temperatura del periodo  $t$  en relación con la temperatura promedio que experimentó el distrito  $i$  durante los últimos 50 años (entre 1964 y el 2012). Este indicador es cercano al concepto de anomalía de temperatura y precipitación, referido en la sección 2. Así, el vector de parámetros de interés,  $\beta_2$ , incluye, por ejemplo, un estimador del efecto que tendría un incremento en la anomalía en temperatura sobre el grado de concentración de la cartera de cultivos en la sierra, o el efecto que tendría un incremento en la anomalía en precipitación sobre la decisión de uso de riego. Como se señaló en la sección 2, el indicador de anomalía resume mejor que el de nivel el cambio en las condiciones climáticas para regiones heterogéneas en términos de temperatura promedio o precipitación promedio. A esta ventaja conceptual se le añade una empírica: nuestras estimaciones de cambio son más robustas que las de nivel de temperatura o precipitación.

Con el fin de capturar —al menos parcialmente— posibles heterogeneidades en el efecto del cambio climático, estimamos  $\beta_6$ , que captura el potencial efecto adicional que tendría el cambio climático en la sierra sur (en términos relativos al efecto promedio en la sierra en general).

La estrategia de estimación de  $\beta_2$  y  $\beta_6$  aprovecha la naturaleza panel de los datos distritales para relajar el supuesto de correlación nula entre variables no observables invariantes en el tiempo,  $v_i$ , y las variables  $x_{it}$  y  $w_{it}$ , y obtener de esta manera parámetros insesgados a pesar de haber relajado el supuesto sobre  $v_i$ . Adicionalmente, incorporamos una variable dicotómica de periodo,  $\lambda_t$ , con el fin de capturar eventos comunes a toda la sierra rural ocurridos en un periodo específico y no en otro; por ejemplo, el cambio en precios relativos que podría haber afectado la rentabilidad de la actividad agrícola o haber modificado los incentivos para producir un tipo de cultivo en vez de otro.<sup>16</sup> El error resultante —luego de separar los no observables invariantes en el tiempo, pero variables entre distritos,  $v_i$ , y los no observables

16 Un ejemplo de estos cambios es el incremento en el precio relativo de la leche en relación con el de la papa, y la asociada mayor rentabilidad de la producción de pastos cultivados para ganado mejorado a partir del uso de riego.

**Tabla 1**  
**Estimación de efectos fijos de doble vía del efecto del cambio climático**  
**sobre las decisiones de producción de los agricultores de la sierra**  
**(riego y concentración de cultivos)**

	Porcentaje de unidades agro- pecuarias con riego <sup>a</sup>	Herfindahl de cultivos ([0,1], 1: máxima concentración)
Anomalía de la precipitación mensual promedio del trimestre noviembre- diciembre-enero en el distrito (i)	-0,003 (2,75)***	-0,002 (3,95)***
Anomalía de la precipitación mensual promedio del trimestre mayo-junio-julio en el distrito	0,002 (0,16)	0,011 (0,94)
Anomalía de la temperatura promedio del trimestre agosto-setiembre-octubre en el distrito	0,053 (2,31)**	0,052 (2,24)**
(i)*indicador 1 si el distrito se ubica en la sierra sur (0 si es un distrito del centro o del norte)	0,002 (1,40)	-0,004 (2,22)**
Porcentaje de conductores de las unidades agrícolas (UA) del distrito que son varones	-0,010 (0,14)	-0,263 (3,73)***
Edad promedio del (la) conductor(a) de la UA en el distrito	0,005 (1,84)*	0,002 (1,28)
Porcentaje de conductores de la UA con primaria completa o menos en el distrito	-0,096 (1,02)	-0,233 (3,51)***
Número de miembros promedio en los hogares agrícolas del distrito	0,035 (3,58)***	-0,016 (1,68)*
Gini de la superficie de hectáreas equivalentes en la provincia	-0,093 (1,81)*	-0,119 (2,03)**
Porcentaje de hogares con acceso a electricidad en la provincia	0,015 (0,41)	0,050 (1,42)
Porcentaje de hogares con acceso a agua potable en la provincia	-0,082 (2,71)***	-0,003 (0,10)
Año = 1994	0,010 (0,33)	0,056 (2,10)**
Constante	0,221 (2,14)**	1,002 (9,93)***
$R^2$ 0,27	0,20	
$N$ 2,366	2,350	
<i>Prueba de especificación de Hausman</i>		
$Chi^2(12)$	250,45	108,36
$Prob > chi^2$	0,000	0,000

\*  $p < 0,1$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$

<sup>a</sup> Por lo menos una parcela de la unidad agropecuaria cuenta con riego de algún tipo: por gravedad, aspersión, goteo o exudación.

invariantes entre distritos, pero variables en el tiempo,  $Y_t$ ,  $\varepsilon_{it}$ , se asume, como es usual, *i. i. d.*

Como se observa en los estimados de la tabla 1, consistentemente con nuestra hipótesis encontramos que un incremento en la anomalía de la precipitación mensual —mientras se mantienen constantes todos los demás factores— reduciría la proporción de productores agropecuarios que utilizan riego de algún tipo —por gravedad, aspersión, goteo o exudación—. En la medida en que un incremento en la precipitación en época de lluvias —en la que el agua es más necesaria para la viabilidad de los cultivos— reduce la necesidad de usar tecnologías de riego, y dado que el uso de riego implica costos para el productor —tiempo para participar en comités de regantes, limpieza de canales, reposición de equipos en el caso de riego tecnificado, entre otros—, es razonable esperar que el riego se reduzca en las unidades agrícolas beneficiadas. Es importante notar, sin embargo, que los beneficios —no solo los costos— de usar determinados tipos de riego pueden ser distintos. Por ejemplo, el riego tecnificado —por aspersión, goteo o exudación— puede permitir distribuir el agua más eficientemente, y sobre todo en la cantidad que el cultivo necesita, con lo cual se puede obtener mayor rentabilidad de la inversión en la tecnología de riego. Aunque se intentó estimar el modelo para riego tecnificado, las pruebas de especificación no resultaron favorables.

Asimismo, los resultados sugieren que, para rangos de precipitación similares, incrementos en la temperatura por encima del valor esperado conducirían a un mayor uso de riego. Este hallazgo es consistente con el canal causal de demanda, en el cual mayores temperaturas elevan la evapotranspiración de la planta y, con ello, la demanda por agua de riego.

En cuanto al grado de concentración de los cultivos, se encuentra un efecto negativo en la precipitación mensual en la temporada de lluvias. Este efecto es consistente con la hipótesis según la cual, si se mantiene constante la temperatura, los incrementos en la precipitación permitirían incorporar a la cartera de cultivos especies que se vuelven viables ante las nuevas condiciones climáticas —un canal «biológico»—. Según los estimados, este efecto tiende a ser más intenso en la sierra sur en comparación con la sierra centro y norte.

Con relación al efecto de los incrementos de la temperatura por encima del promedio del distrito (anomalía) se estiman efectos positivos (en signo) sobre la concentración de cultivos. Este resultado es consistente con la hipótesis de que, en la sierra, un incremento de la temperatura —respecto del promedio del distrito— podría hacer viable el cultivo de productos rentables que antes no crecían en la zona. Así, productores con alto grado de diversificación y baja articulación al mercado podrían cambiar su cartera de cultivos concentrándola en productos más rentables que, luego del incremento de temperaturas, se han hecho viables en la zona. Es decir, el canal de mercado lideraría este efecto.

Cabe indicar que los resultados señalados no permiten evaluar efectos netos del cambio climático. Como se observa en ambos casos, el efecto de las anomalías de precipitación tiene un sentido contrario al de las anomalías de temperatura. Es necesario un mayor estudio sobre el tema, en especial para explorar la heterogeneidad de los productores y detectar posibles diferencias en los mecanismos causales que operan en cada tipo de productor.

Asimismo, cabe resaltar que la estimación por efectos fijos de los parámetros presentados en la tabla 1 se elaboró utilizando como ponderador el número de productores agrícolas en el distrito, con el fin de representar adecuadamente a cada distrito en la estimación agregada de los parámetros de la sierra. Esto permitió evitar sesgos asociados, por ejemplo, a la sobrerrepresentación de distritos con baja densidad de productores agrícolas. Las estimaciones incorporaron ajustes en los errores estándar, para asegurar su robustez frente a problemas de heterocedasticidad y correlación serial intrapanel.

Es importante señalar, por último, que se corroboró la necesidad de estimar los parámetros  $\beta_2$  y  $\beta_6$  con un modelo de efectos fijos, para lo cual se utilizó la prueba de especificación de Hausman. Esta prueba permite evaluar si los estimadores por efectos fijos son estadísticamente similares a los estimadores por efectos aleatorios, algo que ocurre si  $v_i$  no está correlacionada con los vectores  $x_{it}$  y  $w_{it}$ . En todos los casos se rechazó la hipótesis de igualdad de parámetros.



## 4. CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES

El objetivo de este estudio ha sido dar cuenta de los cambios en las condiciones climáticas que ha experimentado la sierra entre los periodos 1964-1994 y 1982-2012, así como identificar los efectos que este cambio climático ha tenido en algunas de las estrategias productivas de las unidades agropecuarias que operan en esa región. Estos dos periodos corresponden a rangos de 30 años previos a la implementación de cada Censo Nacional Agropecuario utilizado, el de 1994 y el del 2012, y son definidos con el fin de establecer patrones promedio de clima.

A partir de la información meteorológica de hasta 285 estaciones, se muestra que la sierra ha experimentado un incremento de temperaturas máximas —especialmente durante los meses de siembra de la campaña grande—, así como una tendencia a la baja de la precipitación en agosto-octubre y al alza en febrero-abril, aunque con marcada oscilación. Pese a que no es posible analizar explícitamente la variabilidad climática a partir de estas estimaciones, sí se tiene evidencia de un incremento en el rango de temperaturas en la mayor parte del territorio de sierra durante los trimestres de mayo a julio y de agosto a octubre.

¿Qué efectos han tenido estas tendencias sobre el uso de riego o sobre las estrategias de diversificación de cultivos de las unidades agropecuarias? Para responder a esta pregunta, se requiere conectar la información productiva de los censos con la información de cambio en una escala geográfica comparable. Con este propósito, en este trabajo se ha realizado un ejercicio de interpolación de la información meteorológica para construir los indicadores de temperatura y precipitación a una escala de 1 kilómetro cuadrado para toda la sierra. A partir de esos datos, es posible agregar la información



climática a nivel distrital o provincial, y vincularla con la información de los censos agropecuarios. La evaluación de la calidad de la interpolación realizada permite afirmar que la estimación es razonablemente robusta. Los mapas sugieren importantes heterogeneidades intrarregionales que acompañan a los cambios en las tendencias mencionadas, incluyendo un incremento de temperaturas más marcado en la sierra norte, y diferencias en los patrones de precipitación entre la sierra norte, centro y sur.

La evidencia que se presenta en este estudio sugiere que, durante el periodo intercensal 1994-2012, las estrategias productivas de los hogares que conducen las unidades agropecuarias han cambiado tanto en función de las modificaciones del clima de la región como de otros factores asociados a su estructura demográfica y a las condiciones de su entorno, lo que incluye el acceso a bienes y servicios públicos.

Los resultados obtenidos sugieren que una reducción en la precipitación tiende a incrementar el número de agricultores que utilizan riego y reducir el grado de diversificación de los cultivos. Estos efectos, en el segundo caso, son más intensos en la sierra sur comparada con la sierra norte o sierra centro. Asimismo, según las estimaciones, un incremento en la temperatura tiende a incrementar el uso de tecnologías de riego y la concentración de cultivos.

Es importante señalar que este estudio es el primer paso en una agenda de investigación mayor, que permita rastrear con más claridad los canales causales que están detrás de estos resultados. En primer lugar, es necesario profundizar el estudio sobre la adopción de riego tecnificado en la sierra, que si bien es aún reducida en términos porcentuales, muestra una clara tendencia a crecer.

Asimismo, es importante avanzar hacia una clasificación de los cultivos que permita distinguirlos por su grado de resistencia frente a entornos climáticos diferentes, con el fin de analizar los efectos del cambio climático sobre el grado de concentración de las carteras de cultivos desde una perspectiva de estrategias de adaptación.

Finalmente, queda pendiente evaluar cuán heterogéneo es el impacto encontrado, y si es que las condiciones del entorno —mayor acceso a

mercados, mejor infraestructura, existencia de programas públicos— en espacios específicos de la sierra han favorecido o no un mayor uso de tecnologías de riego o de diversificación de cultivos.

Esta investigación complementaria es la que permitiría comprender mejor en qué espacios es más viable que políticas como la ampliación de la infraestructura de riego sean eficaces para enfrentar el cambio climático.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bradshaw, Ben; Holly Dolan y Barry Smit (2004). Farm-level adaptation to climatic variability and change: crop diversification in the Canadian prairies. *Climatic Change*, 67(1), 119-141.
- Buytaert, Wouter; Rolando Celleri, Patrick Willems, Bert De Bièvre y Guido Wyseure (2006). Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: a case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology*, 329(3-4), 413-421. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.02.031.
- Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) (2005): *Vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático y medidas de adaptación en la cuenca del río Mantaro* (Vol. III). Lima: CONAM.
- Chen, Xiao; Phillip B. Ender, Michael Mitchell y Christine Wells (2003). *Regression with Stata*. Recuperado de <http://www.ats.ucla.edu/stat/stata/webbooks/reg/default.htm>.
- Deressa, Temesgen; Rashid Hassan, Tekie Alemu, Mahmud Yesuf y Claudia Ringler (2008). *Analyzing the determinants of farmers' choice of adaptation methods and perceptions of climate change in the Nile Basin of Ethiopia*. IFPRI Discussion Paper 00798. Washington, DC: IFPRI.
- Escobal, Javier y Carmen Ponce (2010). Adaptación al cambio climático en contextos de desarrollo territorial rural: la experiencia de Jauja. En *Cambio climático en la cuenca del río Mantaro: balance de siete años de estudio* (pp. 226-233). Lima: Instituto Geofísico del Perú.
- Escobal, Javier; Carmen Ponce y Raúl Hernández Asensio (2012). El territorio de Cuatro Lagunas en Perú: intervenciones de actores extraterritoriales

- y cambios en la intensidad de uso de los recursos naturales. En Julio A. Berdegú y Félix Modrego Benito (Eds). *De Yucatán a Chiloé: dinámicas territoriales en América Latina* (pp. 393-418). Buenos Aires: Tesco, IDRC y RIMISP.
- Goovaerts, Pierre (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 228(1), 113-129.
- Hassan, Rashid y Charles Nhemachena (2008). Determinants of African farmers' strategies for adapting to climate change: multinomial choice analysis. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2(1), 83-104.
- Hijmans, Robert J.; Jacob van Etten, Matteo Mattiuzzi, Michael Sumner, Jonathan A. Greenberg, Oscar P. Lamigueiro y Ashton Shortridge (2015). *Raster: Geographic Data Analysis and Modeling (Version 2.3-33)*. Recuperado de <http://cran.r-project.org/web/packages/raster/index.html>.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2012) *Resultados definitivos: IV Censo Agropecuario 2012*. Lima: INEI.
- Jarvis, Andy; Hannes I. Reuter, Andy Nelson y Edward Guevara (2008). *Hole-filled seamless SRTM data V4. International Centre for Tropical Agriculture (CIAT)*. Recuperado de <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- Lavado, Waldo; Grinia Ávalos y Wouter Buytaert (2015). *La economía del cambio climático en el Perú: la climatología del cambio climático*. Monografía, 262. Washington, DC: BID.
- Lin, Brenda B. (2011). Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. *BioScience*, 61(3), 183-193.
- Lybbert, Travis y Daniel Sumner (2010). *Agricultural technologies for climate change mitigation and adaptation in developing countries: policy options for innovation and technology diffusion*. Issue Brief, 6. Geneva:

International Centre for Trade and Sustainable Development; International Food & Agricultural Trade Policy Council.

Maletta, Héctor y Emiliano Maletta (2011). *Climate change, agriculture and food security in Latin America*. Brentwood, Essex, UK: Multi-Science Publishing.

Marshall, Eric y Timothy Randhir (2008). Effect of climate change on watershed system: a regional analysis. *Climatic Change*, 89(3-4), 263-280.

Morton, John F. (2007). The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19680-19685.

Nhemachena, Charles y Rashid Hassan (2007). *Micro-level analysis of farmers' adaptation to climate change in Southern Africa*. IFPRI Discussion Paper, 00714. Washington, DC: IFPRI.

Nkya, Kamil; Amana Mbowe y Joachim H. J. R. Makoi (2015). Low-cost irrigation technology, in the context of sustainable land management and adaptation to climate change in the Kilimanjaro Region. *Journal of Environment and Earth Science*, 5(7), 45-56.

Osbahr, Henny; Chasca Twyman, W. Neil Adger y David S. G. Thomas (2008). Effective livelihood adaptation to climate change disturbance: scale dimensions of practice in Mozambique. *Geoforum*, 39(6), 1951-1964.

Paavola, Jouni. (2008). Livelihoods, vulnerability and adaptation to climate change in Morogoro, Tanzania. *Environmental Science & Policy*, 11(7), 642-654.

Pebesma, Edzer; Roger Bivand, Barry Rowlingson, Virgilio Gómez-Rubio y Robert Hijmans (2015). *sp: classes and methods for spatial data (Version 1.0-17)*. Recuperado de <http://cran.r-project.org/web/packages/sp/index.html>.

R Core Team (2014). *R: a language and environment for statistical computing (version 3.1.2)*. Recuperado de <http://www.R-project.org/>.

- Ruben, Ruerd; Gideon Kruseman, Arie Kuyvenhoven y Johan Brons (2000). *Climate variability, risk-coping and agrarian policies: farm households' supply response under variable rainfall conditions*. Report for NOP Project Impact of Climate Change on Drylands (ICCD). Wageningen.
- Stalker, Peter (Ed.) (2006). *Technologies for adaptation to climate change*. Bonn: UNFCCC.
- Tambo, Justine y Tahirou Abdoulaye (2012). Climate change and agricultural technology adoption: the case of drought tolerant maize in rural Nigeria. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 17(3), 277-292.
- Tompkins, Emma L. y W. Neil Adger (2004). Does adaptive management of natural resources enhance resilience to climate change? *Ecology and Society*, 9(2), 10.

### **Páginas web**

- <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/anomalies.php>
- [http://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOD\\_LSTAD\\_M](http://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOD_LSTAD_M)
- [www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)
- [http://ete.cet.edu/gcc/?/globaltemp\\_anomalies/](http://ete.cet.edu/gcc/?/globaltemp_anomalies/)
- <http://siea.minag.gob.pe/siea/?q=calendario-de-siembras-y-cosechas>

### **Anexo 1. Metodología de estimación de la temperatura promedio y precipitación promedio en la sierra para los periodos 1964-1994 y 1982-2012**

#### ***Generación de datos climatológicos***

Se seleccionaron las estaciones con más del 50% de datos existentes para ambos periodos y para cada variable. Como resultado, se trabajó con los datos de 285 estaciones para estimar la precipitación, 154 para estimar la temperatura máxima y 153 para la temperatura mínima y la media. En cada estación, se revisaron los datos con el fin de identificar problemas de digitación o *outliers*. Se estimaron los promedios mensuales de temperatura diaria mínima y máxima, así como los promedios mensuales de precipitación diaria acumulada. Finalmente, se vinculó cada estación con sus coordenadas y con su altitud, esta última obtenida de información satelital (Jarvis y otros 2008).

#### ***Generación de mapas interpolados***

Para interpolar los mapas de temperatura máxima, mínima y media (promedio de mínima y máxima) de cada mes de cada periodo (1964-1994 y 1984-2014), se siguió el método empleado por el SENAMHI para construir la climatología base en el EIECCP. El método se basa en *co-kriging*, una herramienta de análisis estadístico espacial que genera el mejor predictor lineal insesgado de los valores intermedios entre los puntos observados. Esta



herramienta ha sido ampliamente empleada en el análisis de la información climática (Goovaerts 2000), incluyendo el desarrollado en zonas andinas (Buytaert y otros 2006).

Para la temperatura, se emplearon solo estaciones que estuvieran a más de 2 kilómetros de distancia entre sí. Cada mapa se interpoló empleando la herramienta *co-kriging*, en la que se usó la altitud como covariable y un componente de correlación espacial con un rango de búsqueda de 10 kilómetros. El mapa de alturas se obtuvo de la base de datos del CIAT (Jarvis y otros 2008) y sirvió de soporte para la interpolación. Luego de la interpolación, el mapa en coordenadas geográficas se reproyectó a UTM (zona 18S) con el fin de simplificar el análisis posterior. En el mapa final obtenido para cada variable y cada mes, cada píxel (cuadrado que representa cada unidad de estimación) mide 1 kilómetro de lado.

Un proceso similar se empleó para estimar la precipitación mensual promedio, con dos diferencias: se utilizó como covariable información del satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) y para la búsqueda de estaciones se definió un rango de 100 kilómetros. El satélite TRMM recoge información acerca de la precipitación y las nubes en el área tropical, y ha operado desde 1997. La información de este satélite se empleó para construir cuatro mapas de probabilidad de precipitación trimestral: diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y setiembre-noviembre. Esta información no permite recoger datos para todo el periodo de estudio, pero ayuda a establecer la estructura espacial de la precipitación y sus cambios a lo largo del año. Dado que esta estructura espacial depende en gran parte de la topografía y la dirección de los vientos, y en la medida en que no hay evidencias de que estos hayan cambiado sustancialmente durante los últimos 50 años, asumimos que dicha estructura espacial es similar para todo el periodo de análisis.

Cada mapa interpolado y reproyectado fue intersecado con un mapa de distritos a nivel nacional. Con todos los píxeles que ocupan cada distrito, se obtuvieron valores promedio de temperatura mínima, máxima y media, así como de precipitación distrital. El mismo proceso se repitió descartando todos los píxeles a más de 4800 metros de altitud, donde la presencia agrícola

es prácticamente nula. El último conjunto de mapas es el que se utilizó en este estudio.

Todos los análisis espaciales fueron realizados con R (R Core Team 2014), empleando los paquetes *sp* (Pebesma y otros 2015) y *Raster* (Hijmans y otros 2015).

### *Ejercicios de validación*

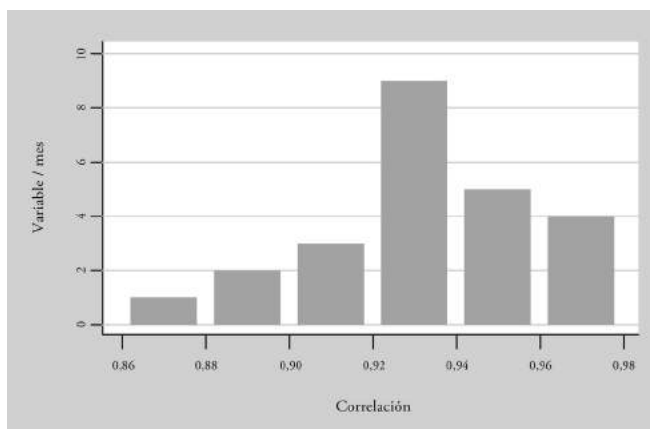
Para asegurar la calidad de la interpolación se evaluaron los variogramas de la estimación de cada variable, mes y periodo. En los variogramas se muestra cómo cambia la correlación entre dos puntos cuando se modifica la distancia. La correlación debe reducirse conforme se incrementa la distancia; como la correlación disminuye, la varianza aumenta.

Adicionalmente, se construyeron mapas de validación cruzada de temperatura promedio y precipitación promedio para cada mes/periodo. Para construir cada uno de estos mapas, en primer lugar, se extrae cada estación de la muestra —una por una— y se vuelve a estimar el modelo sin incluir dicha estación. El valor estimado se compara con el valor observado de esa estación. Este proceso se repite para cada una de las estaciones, y para cada una de las variables de interés, mes y periodo. Finalmente, se compara la diferencia —o residuo— de cada variable, estación y mes del primer periodo con la respectiva diferencia o residuo del segundo periodo, para identificar el grado de correlación entre ambas.

Cabe señalar que, dado que los residuos tienden a ser mas altos que los cambios estimados entre un periodo y otro, se evaluó el grado de correlación intertemporal de los residuos, para ambas variables de interés (temperatura promedio y precipitación promedio). Como se observa en el gráfico 1, la correlación entre los residuos de ambos periodos, para ambas variables, es bastante alta. Esta alta correlación —entre los residuos de la validación cruzada de ambos periodos— sugiere que existe un componente estructural espacial que es capturado solo parcialmente por el modelo, pero que se

mantiene en el tiempo, para cada punto del territorio. Por ello, concluimos que la estimación del cambio es más confiable que la de niveles, pues elimina esta parte no capturada por el modelo que se mantiene en el tiempo.

**Gráfico A-1**

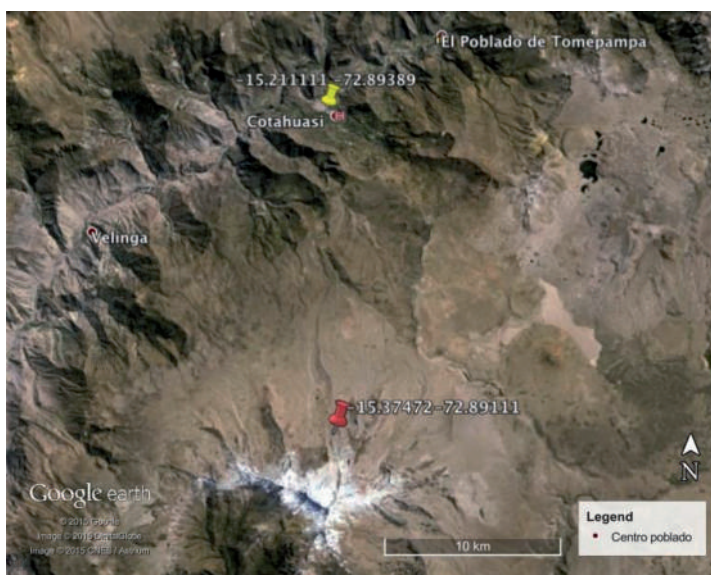


Correlación entre los errores obtenidos de los ejercicios de validación cruzada de los periodos 1964-1994 y 1984-2014 para las variables del estudio (temperatura promedio y precipitación promedio) y para cada mes. Se puede apreciar que, en todos los casos, supera 0,86, y que en la gran mayoría de casos la correlación es bastante alta (mayor de 0,9).

Como ocurre en estudios anteriores, el grado de precisión de las estimaciones está estrechamente vinculado a la escasa información meteorológica de campo existente, así como a la limitación de los modelos de interpolación espacial estadística disponibles. Con el fin de corroborar que la estimación realizada comparte la robustez de las estimaciones de la metodología validada por Lavado y otros (2015), complementariamente a los ejercicios de validación mencionados se compararon los resultados del modelo de temperatura media utilizado en este estudio —reestimado para el periodo de estudio del EIECCP— con los resultados obtenidos para el EIECCP, único estudio disponible para el Perú que comparte similitudes en la escala de la estimación y el tipo de variables de análisis. La comparación se hizo tanto para los resultados interpolados como para los residuos de la validación cruzada de ambos estudios.

Los resultados de las estimaciones de temperatura promedio fueron consistentes con los obtenidos para el EIECCP en términos de los valores estimados y de los residuales de la validación cruzada. En términos de los valores estimados, se observaron dos anomalías significativas ( $> 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), las cuales corresponden a problemas de georreferenciación existentes en la base de datos original del SENAMHI empleada para el EIECCP, que ya fueron corregidos por el SENAMHI para este estudio (figuras A-1 y A-2).

Figura A-1



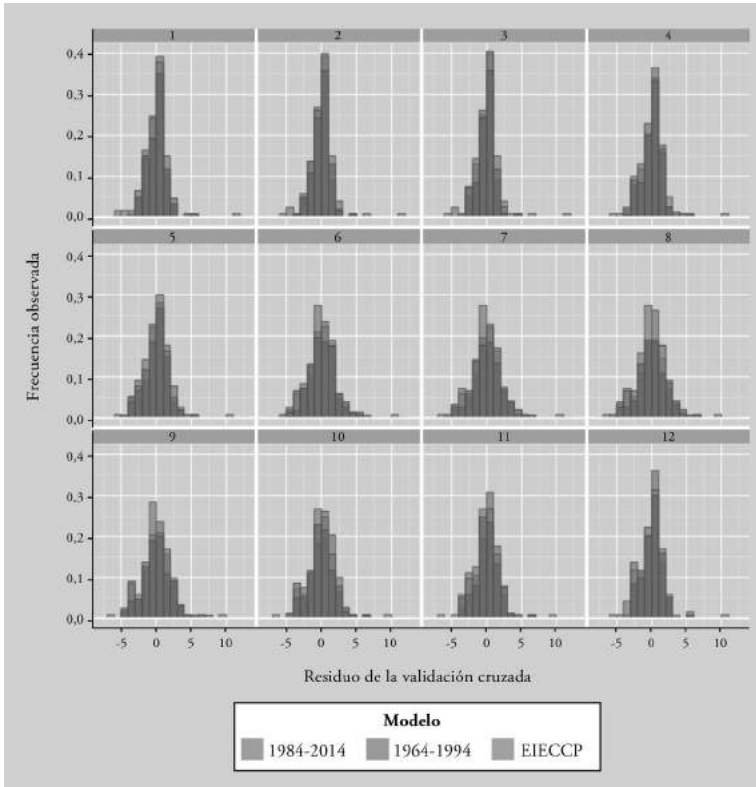
Vista de la estación Cotahuasi según las coordenadas empleadas para el EIECCP (marcador rojo, altitud según Google Earth: 5114 metros) y este estudio (marcador amarillo, altitud según Google Earth: 2651 metros). Nótese la ubicación del centro poblado Cotahuasi, así como que la altitud del marcador amarillo corresponde con la reportada para dicha estación (2683 metros).

**Figura A-2**

Vista de la estación Huancabamba según las coordenadas empleadas para el EIECCP (marcador rojo, altitud según Google Earth: 3191 metros) y este estudio (marcador amarillo, altitud según Google Earth: 1951 metros). Nótese la ubicación del centro poblado Huancabamba, así como que la altitud del marcador amarillo corresponde con la reportada para dicha estación (1950 metros).

Como se muestra en el gráfico A-2, la comparación de los residuos obtenidos mediante el método de validación cruzada muestra un patrón similar que el obtenido en la estimación del EIECCP, con la gran mayoría de ellos concentrados alrededor de  $\pm 5$  °C. Solo en unos pocos casos se observan residuos por encima de  $\pm 10$  °C en las estimaciones del EIECCP. Estos resultados muestran que las interpolaciones obtenidas son consistentes con trabajos anteriores similares en el área.

Gráfico A-2



Distribución de los residuos de la validación cruzada observados para el EIECCP y para los dos periodos del presente estudio. Se aprecia que las tres distribuciones son prácticamente idénticas y que la gran mayoría de las observaciones se encuentran acotadas entre  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .